

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

LEGAL
STATUS

1 / 1

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-041294
 (43)Date of publication of application : 19.02.1993

(51)Int. Cl. H05H 3/02
 H01J 37/08
 H05H 7/08

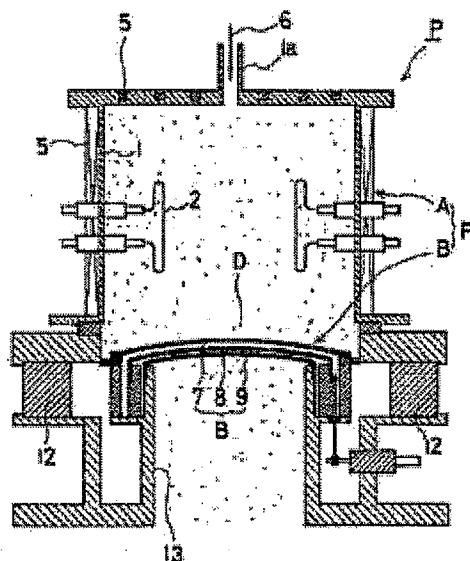
(21)Application number : 03-216156 (71)Applicant : NISHIKAWA MASAHIRO
 (22)Date of filing : 31.07.1991 (72)Inventor : NISHIKAWA MASAHIRO
 UEDA YOSHIO

(54) NEUTRAL PARTICLE BEAM RADIATION EQUIPMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To increase the intensity of neutral particle beams significantly, by forming electrode plates in a beam taking out section to curved surfaces respectively.

CONSTITUTION: A neutral particle beam irradiation equipment P is constructed with a source plasma generating section A and a beam taking out electrode section B. And the section A is constructed with an arc chamber 1, tungsten filaments 2, permanent magnets 5 and discharge gas supplied into the chamber 1. And the electrode section B consists of three multiple hole electrodes 7, 8, 9, and they are operated as an accelerating electrode 7, a decelerating electrode 8 and a grounded electrode 9 respectively in order of proximity to the source plasma D. Respective electrodes 7, 8, 9 are formed to spherical surfaces concentric to each other, and by converging directions of taking out electric fields to the center of curvature, microbeams taken out through respective unit holes are focused to increase the intensity of the beams. Thereby an ultra high temperature field can be obtained to carry out high thermal load irradiation tests for various materials.



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-41294

(43)公開日 平成5年(1993)2月19日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 3/02		9014-2G		
H 0 1 J 37/08		9069-5E		
H 0 5 H 7/08		9014-2G		

審査請求 有 請求項の数5(全9頁)

(21)出願番号 特願平3-216156

(22)出願日 平成3年(1991)7月31日

(71)出願人 591027167

西川 雅弘

大阪府堺市南花田町394番地

(72)発明者 西川 雅弘

大阪府堺市南花田町394番地

(72)発明者 上田 良夫

大阪府高槻市日吉台1番町7-23

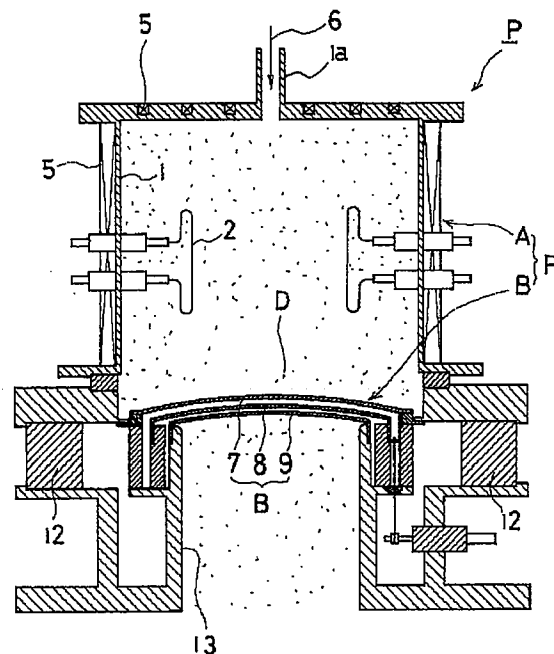
(74)代理人 弁理士 岩越 重雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 中性粒子ビーム照射装置

(57)【要約】

【目的】 低エネルギー領域(数Kev~数百ev)の中性粒子ビームを照射する装置に於いて、中性粒子ビームの高輝度化を計ることにより超高温場の達成を可能とし、実際の周辺プラズマ条件に近い状態で種々の材料に対する高熱負荷照射試験等を実施できるようにする。

【構成】 アークチャンバーを備え、熱陰極アーク放電によりソースプラズマを生成するソースプラズマ生成部と；前記アークチャンバーの開口部に設けられ、ソースプラズマ中のイオンを中性化セル内へ引出すビーム引出し電極部とから成る中性粒子ビーム照射装置に於いて、前記ビーム引出し電極部を、所定の間隔を保持して並設した複数枚の電極孔を有する曲面状電極から構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 アークチャンバーを備え、熱陰極アーク放電によりソースプラズマを生成するソースプラズマ生成部と；前記アークチャンバーの開口部に設けられ、ソースプラズマ中のイオンを中性化セル内へ引出すビーム引出し電極部とから成る中性粒子ビーム照射装置に於いて、前記ビーム引出し電極部を、所定の間隔を保持して並設した複数枚の電極孔を有する曲面状電極から構成したことを特徴とする中性粒子ビーム照射装置。

【請求項2】 アークチャンバー内の放電ガスを水素、アルゴン、ヘリウム、炭化水素系ガス又はボロン系ガスの何れかとした請求項1に記載の中性粒子ビーム照射装置。

【請求項3】 ビーム引出し電極部を、正電位を与えた加速電極と負電位を与えた減速電極と接地電極の三枚の曲面状電極から形成し、且つ各曲面状電極を同心の球面状電極とした請求項1に記載の中性粒子ビーム照射装置。

【請求項4】 ビーム引出し電極部を形成する曲面状電極を、円筒面若しくは回転楕円面を有する曲面状電極とした請求項3に記載の中性粒子ビーム照射装置。

【請求項5】 正電位を与えた加速電極とアークチャンバーとの間の電位 V_{c-f} を可変とするようにした請求項3に記載の中性粒子ビーム照射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、核融合施設等で用いる各種材料の高熱負荷照射試験や新材料の開発等に使用されるものであり、数keV～数百eVのエネルギー領域に於いて高輝度の中性粒子ビームを得られるようにした照射装置に関するものである。

【0002】

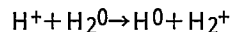
【従来の技術】核融合工学等の分野に於ける材料評価、例えばプラズマ対向材としてのカーボンや耐熱合金等の材料評価では、熱負荷照射試験の結果が特に重要となる。しかし、従来の荷電粒子ビームによる照射試験や熱衝撃試験は、ビームを形成する粒子の加速エネルギーが10keV～100keVと比較的高いため、所謂インプランテーション等の相互作用が主体となり、実際の周辺プラズマ条件下に於ける試験とは相当異なったものになっている。又、従来のビーム照射装置では、荷電粒子ビームを照射するようになっていたため、材料への電荷の蓄積の問題があり、金属と非金属に対して同じ熱衝撃を与えることが難しい等の難点がある。

【0003】そこで、本件発明者等は先に、実際の周辺プラズマ条件下に近い低エネルギー領域（数keV～数百eV）で、しかも中性の粒子ビームを照射する装置を開発し、これを実用化して来た。即ち、この低エネルギー領域の中性粒子ビーム照射装置Pは、図11に示すようにソースプラズマ生成部Aとビーム引出し電極部Bと

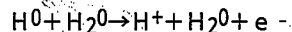
から構成されており、当該照射装置Pに内部に試料ホルダー等を収納した真空排気部Cを連結することにより、照射試験装置Uが形成されている。また、照射装置Pを構成するソースプラズマ生成部Aは、図12に示すようにアークチャンバー1、タングステンフィラメント2、アーク電源3、フィラメント電源4、ラインカスプ磁場を形成してソースプラズマDの閉じ込めをするC o - S mを用いた永久磁石5及びアークチャンバー1内へ充填した放電ガス（H、He、Ar等）6等から形成されている。更に、ビーム引出し電極部Bは、多数の電極孔7aを有する平板状の加速電極7、電極孔8aを有する平板状の減速電極8、電極孔9aを有する平板状の接地電極9、加速電源10、減速電源11、絶縁体12及び筒状の中性化セル13等から形成されている。

【0004】中性粒子ビームの照射に際しては、先ずアークチャンバー1内で熱陰極アーク放電を発生させ、これによりソースプラズマDを生成する。生成されたソースプラズマD中のイオンは、引出し電極部Bの各電極へ所定の電位を加えることにより、電極孔を通して順次外方へ引き出され、加速・減速電極7、8間で加速されると共に減速・接地電極8、9間で減速され、最終的には加速・接地電極7、9間のポテンシャルに応じたエネルギーを持って中性化セル13内へ引き出される。

【0005】引き出し電極部Bにより引き出されたイオンは、中性化セル13内のガス6雰囲気中を通過することにより中性化される。水素ビーム（放電ガス6が水素）の場合、その荷電交換反応は次のようなものである。



また、次に示す如く、一度中性化された高速の粒子の中のいくつかは、衝突によって再びイオン化される。



尚、粒子のエネルギーが10KeV程度であれば、中性化効率率は約90%あり、荷電交換反応による中性化で高密度な中性粒子ビームの生成が可能となる。

【0006】ところで、プラズマへの入射や材料照射を目的とする中性粒子ビーム照射装置Pに於いては、超高温場を達成する必要から中性粒子ビームの高輝度化即ち高電流密度化が必須の要件となる。而して、低エネルギー領域の中性粒子ビームの高輝度化を計るためには、ソースプラズマDからのイオン引出し面において高い電流密度を得ることと、引き出したビームを集束させることの2つが必要となる。

【0007】ところで、図12の様な3枚の電極から成る引出し電極部Bの場合、前記イオン引出し面における電流密度は引き出し電圧（加速電圧+減速電圧）の大きさによって決定される。即ち、引き出されたビームのエネルギーは加速電圧10によって決まるので、減速電圧11を高圧化することによって、ビームのエネルギーを変えずに引き出し電流量を上げることができる。しか

し、減速電圧11を高めると減速・接地電極8、9間の電場の影響でビームの発散角が劣化するため、減速電圧11の上昇による電流密度の増加には一定の限度がある。

【0008】一方、前記引き出したビームを集束させるため、図11及び図12に示す従前の照射装置Pでは、図13のように減速電極8と接地電極9の電極孔8a、8bを加速電極7の電極孔7aに対して変位させることにより、所謂電極孔の静電レンズ効果を利用して各電極孔を通るビームEを偏向させ、一点に集束させるようにしている。尚、図13に於いて、ビームEの集束の焦点距離Lは加速電圧10と減速電圧11の比によって変わり、減速電圧11の加速電圧10に対する比（加減速比）が0.2位の場合には、焦点距離Lが約150cmとなる。

【0009】図13の様に、ビームEの集束によってその高輝度化（高電流密度化）を計るには、前記焦点距離Lを短くして電流密度の増加率（ビームE中の電流密度の最大値をビームの引き出し面での電流密度で割った値）を可能な限り大きくする必要がある。しかし、従前の中性粒子ビーム照射装置のように、電極孔7a、8a、9aの位置変位を利用してビームEを幾何学的に集束させる場合には、焦点距離Lと電極孔の変位量とが反比例の関係にあるため、短焦点化を計ろうとすると、電極孔の変位量が大きくなり過ぎ、その結果、ビームEの引出しに支障を生ずることになる。この様に、電極孔の位置変位を利用してビームの集束を行うようにした従前の中性粒子ビーム照射装置に於いては、中性粒子ビームの高輝度化に一定の限界があり、より高輝度の中性粒子ビームが得られないと云う基本的な欠点がある。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従前の低エネルギー領域（数百eV～数keV）の中性粒子ビームの照射装置に於ける上述の如き問題、即ち、集束せしめた中性粒子の焦点距離Lを大幅に短縮することが困難で、中性粒子ビームの高輝度化に一定の限界があると云う問題を解決せんとするものであり、ビーム引出し電極部の電極板を曲面状の電極板とすることにより、中性粒子ビームの大幅な高輝度化を可能とした中性粒子ビーム照射装置を提供するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】アークチャンバーを備え、熱陰極アーク放電によりソースプラズマを生成するソースプラズマ生成部と；前記アークチャンバーの開口部に設けられ、ソースプラズマ中のイオンを中性化セル内へ引き出すビーム引出し電極部とから成る中性粒子ビーム照射装置に於いて、前記ビーム引出し電極部を、所定の間隔を保持して並設した複数枚の電極孔を有する曲面状電極から構成したことを発明の基本構成とするものである。

【0012】

【作用】熱陰極アーク放電により放電ガスが電離され、アークチャンバー1内にソースプラズマDが生成されると共に、イオンの供給が行われる。ソースプラズマD内のイオンは、ビーム引出し電極部Bの各電極孔を通過する間に、所定の電位の印加によって電極の曲率中心に集まる向きに形成された引出し電場の作用を受け、所謂集束された状態となって引き出されて行く。電極部Bから引き出されたビームは、中性化セル13内のガス雰囲気中を通過する間に荷電交換反応を受けて中性化され、真空排気部C内へ輸送されて行く。

【0013】

【実施例】以下、図面に基いて本発明の実施例を説明する。尚、本発明の実施例に係る図面に於いて、前述した従前の中性粒子ビーム照射装置と共通する部位には、同一の参照番号を使用するものとする。図1は本発明に係る中性粒子ビーム照射装置Pの縦断面概要図であり、当該照射装置Pと真空排気部（図示省略）とを連結することにより、照射試験装置Uが形成される。例えば、当該中性粒子ビーム照射装置Pと真空排気部Cとを図11の様に連結することにより、FRCプラズマをビームの入射ターゲットとする照射試験装置Uを構成することが出来、この場合には、ターゲットであるプラズマの寿命が1mmsec以下であるため、中性粒子ビームのパルス幅は数10mmsec程度に設定されることになる。

【0014】当該中性粒子ビーム照射装置Pは図1に示す如くソースプラズマ生成部Aとビーム引出し電極部Bとから構成されている。また、前記ソースプラズマ生成部Aはガス入口1aを有するアークチャンバー1、タングステンフィラメント2、Co～Sm製永久磁石5及びアークチャンバー1へ供給された放電ガス（水素）6等から形成されている。更に、前記ビーム引出し電極部Bは球面状の加速電極7、減速電極8、接地電極9、加速電源10、減速電源11、絶縁体12及び中性化セル13等から形成されている。

【0015】前記アークチャンバー1は内径260mm、深さ220mmの円形バケット型に形成されており、ステンレス（SUS304）を用いて形成されている。前記フィラメント2は、直径1mm、長さ12.7cmのヘアピン状の形状をもったタングステン線であり、チャンバー側面に8本配置されている。前記永久磁石5はCo～Sn製の磁石であり、チャンバーの周囲にその中心軸と平行に24本及び底に9本並べられており、これによってラインカス磁場を形成させている。尚、当該永久磁石5はソースプラズマの閉じ込めを良くし、アーク効率を上げるためのものである。前記放電ガス6は、ガス入口1aよりアークチャンバー1内へ導入され、約5～10mmTorr程度の圧力に保持されている。尚、本実施例では放電ガスと水素を使用しているが、ヘリウムやアルゴンであっても良い。

【0016】前記引出し電極部Bは3枚の多孔電極7, 8, 9から形成されており、ソースプラズマDから近い順に加速電極7（正電位：V_a）、減速電極8（負電位：V_d）、接地電極9（接地電位：0）を構成している。また、各電極7, 8, 9は、同一の中心を持つ球面状に加工されており、引出し電場の向きを曲率中心に集めることによって、単孔から引き出した微小ビームを集束させ、ビームの高輝度化を図っている。各曲面電極7, 8, 9の仕様は下記の通りである。

接地電極の曲率半径	: 50 cm
最外電極孔間距離	: 14 cm
電極孔直径	: 3.8 mm
電極孔個数	: 637 個
電極の厚さ	: 1.6 mm
加・減、減・接電極間距離	: 5.5 mm, 2.5 mm
透過率	: 46.9 %
電極の材質	: 無酸素銅

尚、アークチャンバー1と加速電極7との間はセラミックス製リング12で絶縁され、通常は200Ωの抵抗を介して接続されている。尚、今回の試験では、アークチャンバー1・加速電極7間に様々なポテンシャルを与えて、ビームを引き出すようにしている。また、本実施例では各電極7, 8, 9を同一の曲率中心を有する球面状の曲面を有する電極としているが、円筒面や回転楕円面を有する曲面状電極としてもよいことは勿論である。更に、前記減速電極8は、下記の機能を果たすために設置するものである。即ち、引出し電極部Bのすぐ後方には、電極孔から流出した中性粒子が多数存在し、引き出された高速イオンとの衝突によって低速のイオン・電子が生成される。このうち低速イオンはビームの空間ポテンシャルによってビームの外に押し出されるが、電子はビーム中に捕捉される。この時、引出し電極部Bの電極が2枚であればビーム中の電子が電極間の電位によりソースD側へ加速される。高速の逆流電子は電極やイオンソース内部に衝突し、表面を加熱したり不純物をたたきだしたりして、イオンソースの安定動作に悪影響を及ぼす。減速電極8はこの電子の逆流を防ぐために設置し、通常加速電圧V_aの1割程度の電圧V_dを印加する。

【0017】本件中性粒子ビーム照射装置Pと連結する前記真空排気部Cは、容積1m³の拡散チャンバーと排気量520 l/secのターボ分子ポンプ等から構成され、アークチャンバー1へのガス注入時に、ビーム照射装置P全体の急激な圧力上昇を防ぐ働きをする。また拡散チャンバーは、ソースプラズマDから引き出されたイオンビームE_oを中性粒子との荷電交換反応により中性化する中性化セル13の補助的な役割も担っている。

【0018】次に、本発明に係る中性粒子ビーム照射装置Pの作動について説明する。まず、真空排気部C内を所定の真空度にまで排気し、その後アークチャンバー1内へ適宜の流量制御弁を介して放電ガス（水素）を導入

する。次に、タングステンフィラメント2に一本あたり60Aの電流を流して3000K程度にまで加熱し、その後、フィラメント2とチャンバー1との間に電圧を印加してアーク放電を発生させる。この熱陰極アーク放電により放電ガスが電離され、アークチャンバー1内にソースプラズマDが生成されると共にイオンの供給が行われる。

【0019】一方、ビーム引出し電極部Bの各電極7, 8, 9へ所定の電位が賦与されることにより、電極の曲率中心に集まる向きに引出し電場が形成される。この引出し電場の作用を受けて、アークチャンバー1内に生成されたソースプラズマ内のイオンは各電極孔7a, 8a, 9aを通して引き出され、その間に順次集束される。また、中性化セル13内へ入ったイオンビームE_oは、中性化セル13内のガス雰囲気中を通過する間に所謂荷電交換反応を受けて中性化され、中性粒子ビームEとなる。その結果、数keV以下の低エネルギーを有し且つ高度に集束された高輝度中性粒子ビームEが形成され、真空排気部C内に設けたターゲットへ向けて照射される。

【0020】次に、イオン源直後からビームがほぼ中性化されるまでの領域に於けるビームのパワー密度分布を測定するため、ビームの径方向に9（又は13）チャンネルの測定子を持ち、且つビームの進行方向に移動操作ができるカロリメーターアレーを作成し、中性粒子ビームの径方向及び進行方向（Z軸方向）のパワー密度分布の詳細な測定を行った。更に、引き続き前記測定値とビーム輸送モデルとの対応を調べた。

【0021】測定に用いたカロリメーターは、受熱板に銅を用い、ビーム照射による温度上昇をアルメルクロメル熱電対で測定するものである。熱電対は厚さ0.1mmのチタン板に溶接されており、また、チタン板と銅板は薄い絶縁層を介して接着されている。更に、銅板は接地をされ、電荷の蓄積が防止されている。これにより、銅板に流れ込むビーム中のイオン電流が熱電対線に流れ込んで熱電対線を加熱したり、測定回路系に悪影響を与えたりすることを防いでいる。受熱板の厚さは0.5-1.0mm程度とし、1ショットでの温度上昇が10°程度以下になるようにしている。

【0022】曲面電極を用いた場合の中性粒子ビームのパワー密度分布測定は、次のようにして行った。図2を参照して、ガス圧は、イオンソースD内圧力P_s=6mTorr、拡散チャンバー（図示省略）内圧力P_c=0.5mTorrに、また加速電圧V_a=8KV、ビーム引出し時間T_{acc}=3msecに固定して水素ビームを引き出した。通常の仕様では、加速電極7とアークチャンバー1との間は200Ωの抵抗を介して接続されており、アーク電圧に近い値のポテンシャルがかかっている（V_{C-E}≒V_{ARC}）。このV_{C-E}と減速電圧V_dを変えて測定を行った。各条件によって最適なパービアン

が異なるので、まずカロリメーターアレーを $Z=48$ cmの位置に置いた後に、アーク電流を変えることによってソースプラズマ密度を変えてビームを引き出し、ビームの径方向(r 方向)のパワー密度分布を測定した。分布の中心パワーが最も大きいときにパービアンスが最適なので、この時の引き出し電流でビームの伝播方向(z 方向)にアレーを走査した。

【0023】ビームは進行するにしたがって中性化されるが、中性化が十分に行われないとビーム中のイオンが発散してしまいプロファイルが変化する。 $Z=48$ cmでの径方向ビームプロファイルを、拡散チャンパー内圧力を $0.5\sim 2.3$ mTorrまで変化させて数点測定したが、プロファイルに変化が見られず、十分に中性化されていることを確認した。プロファイル変化が見られない理由として、イオンの荷電交換反応による中性化と、高速粒子と水素分子の衝突によって生じる電子がビーム中に含まれ、これによる空間電荷の中和等が挙げられる。拡散チャンパー内圧力を下げると、空間電荷により拡がったビームが測定されると思われる。走査中の測定は、カロリメーター出力が一定に、すなわち受熱板の冷却が十分に行われたのを確認してから行った。これは、カロリメーターが熱くなりすぎるのを防ぐためと、正確な出力を得るためである。このときのビーム照射間隔は、約3分間である。また引き出し電極に電圧を印加する際に、加速電圧 V_a はビーム引き出し時間と同じだけ(3 msec)印加しているが、減速電圧 V_d は加速電圧 V_a を遮断した後も印加されている。このためカロリメーターの出力は、イオン及び中性粒子ビームのパワーに、減速電圧 V_d のみ印加されている間の電子ビームのパワーが上乗せされた値になる。以下のデータは、電子ビームによる出力を差し引いた値を用いた。

【0024】図3の(a)～(h)は、測定結果の一例を示すものであり、ビームの代表的な径方向のパワー密度分布の様子を示す。縦軸はガウス分布の最大値を1に規格化している。 Z は接地電極9からの距離を表す。尚、図3に於いて黒点は各チャンネルの出力を、実線はデータ点をガウス分布で近似したものである。電極に近いところでは、ガウス分布からはずれ台形に近い形であるが、30 cm程度進行するとガウス分布と良い一致を見る。また伝播するにしたがって集束されてビームの幅が細くなり、焦点をすぎて太くなっていく様子がわかる。

【0025】また、図4の(a)～(b)は、 V_{C-E} を変えた場合のビームの伝播方向の中心パワー密度分布を示すものである。 V_{C-E} を変えることにより、ビームの中心パワー密度即ちビーム特性が変化することが分かる。 $Z=30$ cm以降のデータ点は、図3に示したガウス分布の中心パワー密度である。曲面電極を用いることで、ビームが進行するにしたがって集束され、引き出された直後は 100 W/cm^2 程度の中心パワー密度だっ

たものが、 1 KW/cm^2 (電極密度 125 mA/cm^2 程度)程度にまで上がっていることが分かる。 V_{C-E} が上がるにつれ、ビームのパワー密度が最も高くなる集束点が $Z=50$ cm(引き出し電極の曲率半径)に近づいていく。また引き出し直後のパワー密度に対する集束点でのパワー密度の上昇率が上がり、単孔の発散角が良くなっていることがわかる。さらにこの試験で、減速電圧 V_d を高圧化すると、最適な引き出し電流値が増すことが確認された。

【0026】図5は、前記図4の(a)の測定値(黒点)と、後述するモデルによるフィッティング(実線)との対応を示すものであり、測定値とモデルによるフィッティングとは良好に対応している。尚、当該試験では $V_a=8\text{ KeV}$, $V_{C-E}=27\text{ V}$, $V_d=2.2\text{ KV}$, ビームの発散角度 $\omega=1.67\text{ deg}$, 焦点距離 55.1 cm となっている。尚、前記各実施例に於いては、放電ガス6として水素を利用した場合について説明したが、アルゴンを利用した場合についても同様の試験を行った。その結果、水素ビームとアルゴンガスビームとの間には特性上大差のないことが判明した。また、放電ガス6としてはこの他に、ヘリウムガスや炭化水素系ガス、ボロン系ガスを用いることが出来る。

【0027】更に、比較のために、ビーム引き出し電極部Bを平板状電極とした中性粒子ビーム照射装置に前記カロリメーターを適用し、ビームの伝播方向の中心パワー密度分布等を測定した。図6の(a)及び図6の(b)は、ビームの中心軸上に於けるパワー密度分布の測定値(黒点)と、後述するモデルを用いたフィッティング(実線)の一例を示すものである。図6からも明らかなように、パワー密度分布の測定値(黒点)とモデルを用いたフィッティング(実線)とは比較的良好に対応している。また、平板状電極の場合には集束ビームの焦点距離 L が $150\sim 160\text{ cm}$ と比較的長くなるうえ、発散角 ω も比較的大きくなる。その結果、パワー密度の最大値は、ビームエネルギーが $10.7\text{ KeV}\sim 7.6\text{ KeV}$ の領域に於いては $0.7\sim 0.8\text{ KW/cm}^2$ 程度となり、球面状電極とした場合のパワー密度の最大値($1.0\sim 1.2\text{ KW/cm}^2$)に比較して相当劣ることになる。

【0028】更に、平面状電極の場合の最大パワー密度と球面状電極の場合の最大パワー密度とを、モデルを用いた計算値により対比した。即ち、平板状電極の場合の中性粒子ビーム輸送のモデルとして以下に示すものを考え、実際の実験データにフィッティングして、パラメーターを決定した。このモデルは次の仮定を用いている。
① ビームは、一様に電極面から引き出される微小ビームの単純な重ね合わせとする。
② 微小ビームは発散角 ω のガウスビームとする。
③ ビーム輸送過程での空間電荷によるビームの発散は考えない。前記仮定②より、電極面での微小面積要素 ds から放出されるビームが

(r, z) の位置に輸送するパワー密度 dp は、下記の数1のようにかける。尚、図7は座標 r, z 及び発散角 ω の関係を示すものである。

【0029】

【数1】

$$dP = \frac{1}{\pi \omega^2 z^2} \exp\left(-\frac{r^2}{\omega^2 z^2}\right) dS$$

【0030】このモデルを用いると円形平板電極からビームを並行に引き出した場合の中心軸上 z_p (電極からの距離) でのパワー密度 $P(z_p)$ は、電極面上を1として下記の数2のように表される。尚、ここで b は電極の半径である。また、実際の電極ではビームを幾何学的に集束しているので、発散角 ω と電極面での電流密度のほかに、ビームの焦点距離 L がフィッティングの際にパラメータとなる。更に、前記モデルに基づくフィッティングが、実測値と比較的良好に対応することは、前述し

$$P(z) = \frac{2}{\omega^2} \int_0^{\theta_0} \frac{\sin \theta}{\left[1 - \left(1 - \frac{Z}{R}\right) \cos \theta\right]^2} \exp\left[-\frac{\left(1 - \frac{Z}{R}\right)^2 \sin^2 \theta}{\omega^2 \left[1 - \left(1 - \frac{Z}{R}\right) \cos \theta\right]^2}\right] d\theta$$

【0034】図9及び図10は、前記数3により計算したビーム中心軸上に於けるパワー密度の Z 軸方向分布を示すものである。即ち、図9は微小ビームの発散角 ω を変化させた場合 (曲率半径 $R = 50 \text{ cm}$)、図10は、曲率半径 R を変化させた場合 (発散角 $\omega = 1.5^\circ$ 、ただし曲率半径を変化させた場合でも電極の面積は同じにしている) の例を示す。また、両図における縦軸 $P(z)/P(0)$ は、パワー密度 (電流密度) の増加率を表すものであり、平面電極から引き出されたビームのパワー密度 $P(0)$ に対する曲面電極から引き出されたビームのパワー密度 $P(Z)$ の比を示すものである。図9より、集束点 (パワー密度最大の場所) でのパワー密度はビームの発散角が小さくなると急激に大きくなることが分かる。又、集束点と電極の距離は常に曲率半径よりも短く、発散角が大きくなるほど短くなる傾向があることが分かる。このことは、高輝度ビームを短焦点の幾何学的集束法で得ようとする場合に、ビームの発散角を小さくすることが大変に重要であるということの意味し、ビームの引き出し系に十分注意を払う必要があるということを示唆する。また図10より、曲率半径を小さくすると急激にパワー密度の増加率が上がることが分かるが、曲率半径を小さくし過ぎると製作上の問題やアークプラズマの電極面での一様性の問題等が生じるためあまり小さくすることは出来ない。

【0035】結論として、図9からも明らかのように、単孔から引き出された微小ビームの発散角 ω が 1.5 deg のとき、 $Z = 47 \text{ cm}$ でビーム束は最も集束し、また同じ大きさの平面電極の場合に比較してピーク値で約32倍のパワー密度を期待することができる。尚、図9及び図10は曲面状電極として球面状の電極を用いた場

た如く、図5の(a)及び図5の(b)によって実証されているところである。

【0031】

【数2】

$$P(z_p) = 1 - \exp\left(-\frac{b^2}{\omega^2 z_p^2}\right)$$

【0032】同様に、球面電極を用いた場合のビームの中心軸上に於けるパワー密度 P は、先のモデルを用いると下記の数3で表される。但し、ここで、 R は電極の曲率半径、 θ_0 は曲率中心から見た場合の電極端の仰角である (図8を参照)。尚、数3によりフィッティングしたビームパワー密度 P が実測値と良好に対応することは、前記図5により判明しているところである。

【0033】

【数3】

合の計算データである。曲面電極としては他に円筒面や回転楕円面等があるが、曲面状電極を回転楕円面の電極とした場合の比較では、球面電極の場合と大差のない効用が得られることが、先のモデルを用いた計算で判明している。

【0036】

【発明の効果】本発明に於いては、バケット型イオン源を用いた約 10 keV 以下の低エネルギー領域の中性粒子ビームを照射する装置に於いて、ビーム引き出し電極部 B を複数枚の多数の電極孔を有する曲面状電極から形成する構成としているため、ビーム集束に於ける焦点距離を大幅に短くすることが出来ると共に、電極孔からのビームの引き出しも支障なく円滑に行なえる。その結果、所謂中性粒子ビームの大幅な高輝度化が可能となり、ほぼ同じ大きさの平面状電極を用いた中性粒子ビーム照射装置と比較して、 Z 軸方向のビームの最大パワー密度を約30倍程度高めることが可能となる。本発明は上述の通り、実際の現象に近い数 keV から数百 eV の低エネルギー領域で高輝度の中性粒子ビームを生成することができ、これによって超高温場の達成が可能となって種々の材料に対する高熱負荷照射試験を行なえると共に、大量のイオンを短時間で広い面積に照射出来ることから、微細パターンの加工装置やイオン注入による表面改質などにも用いることが出来る等、優れた実用的効用を有するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る中性粒子ビーム照射装置の要部を示す縦断面図である。

【図2】中性粒子ビーム照射装置の各電極への電位の印加状態を示す説明図である。

【図3】カロリメーターアレーによる中性粒子ビームの半径方向のパワー密度分布の実測値を示すものである。

【図4】カロリメーターアレーによる中性粒子ビームのビーム中心に於けるZ軸方向のパワー密度分布の実測値である。

【図5】中性粒子ビームのビーム中心に於けるZ軸方向のパワー密度分布の測定値と、モデルによるフィッティングとの対応状態を示す説明図である。

【図6】平板状電極の場合の中性粒子ビームのビーム中心に於けるZ軸方向のパワー密度分布を示すものである。

【図7】平板状電極の場合のモデルに於ける座標系を示すものである。

【図8】球面状電極の場合のモデルに於ける座標系を示すものである。

【図9】球面状電極の場合と平板状電極の場合とのビーム中心に於けるZ軸方向のパワー密度の比を示すものである（発散角 ω をパラメーターとした場合）。

【図10】球面状電極の場合と平板状電極の場合のビーム中心に於けるZ軸方向のパワー密度の比を示すものである（曲率半径Rをパラメーターとした場合）。

【図11】従来の平板状電極を用いた中性粒子ビーム照射装置Pを備えた照射試験装置Uの概要図である。

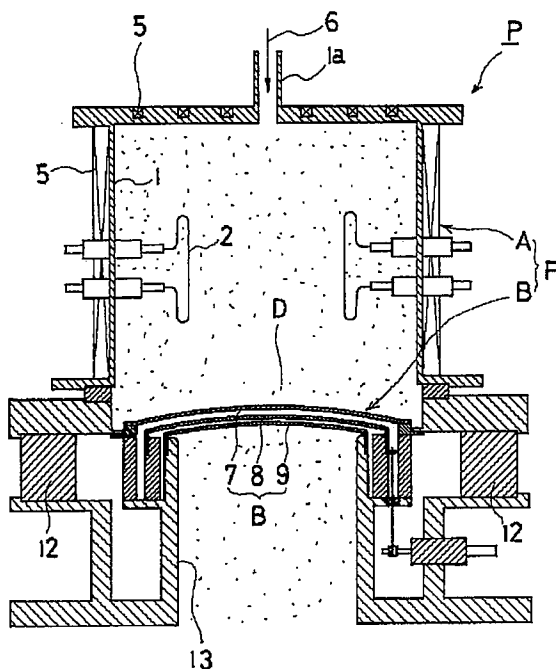
【図12】従来の平板状電極を用いた中性粒子ビーム照射装置Pの作動説明図である。

【図13】従来の平板状電極を用いたビーム引出し電極部に於けるビームの集束状態の説明図である。

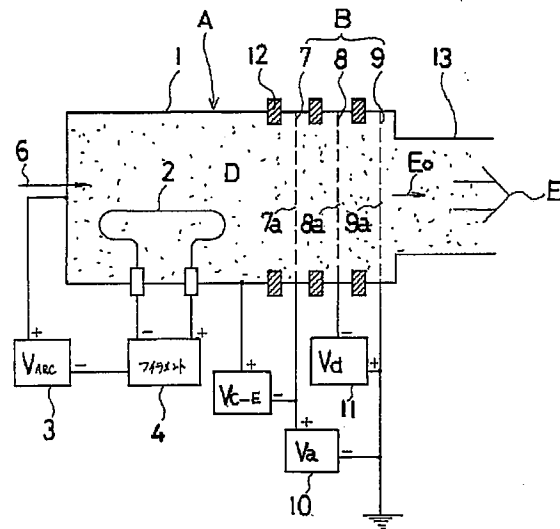
【符号の説明】

U	照射試験装置	4	フィラメント電源
P	中性粒子ビーム照射装置	5	永久磁石
A	ソースプラズマ生成部	6	放電ガス
B	ビーム引出し電極部	7	加速電極
C	真空排気部	7a	電極孔
D	ソースプラズマ	8	減速電極
E	中性粒子ビーム	8a	電極孔
E ₀	イオンビーム	9	接地電極
L	集束ビームの焦点距離	9a	電極孔
1	アークチャンバー	10	加速電源
1a	ガス入口	11	減速電源
2	タングステンフィラメント	12	絶縁体
3	アーク電源	13	中性化セル

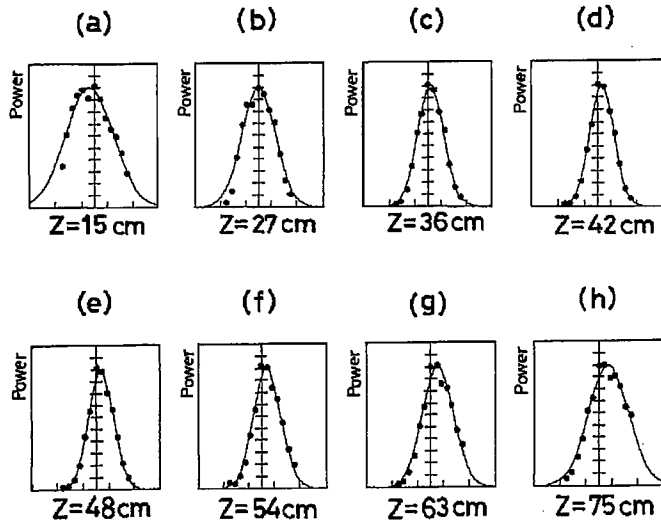
【図1】



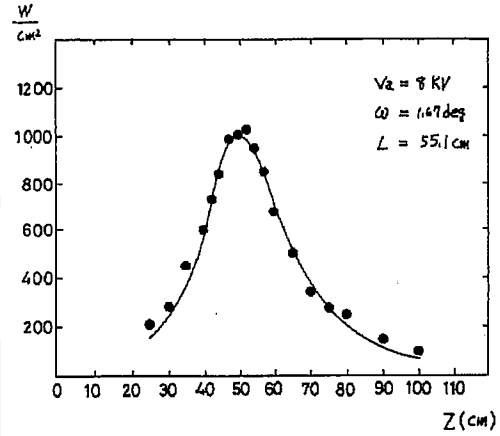
【図2】



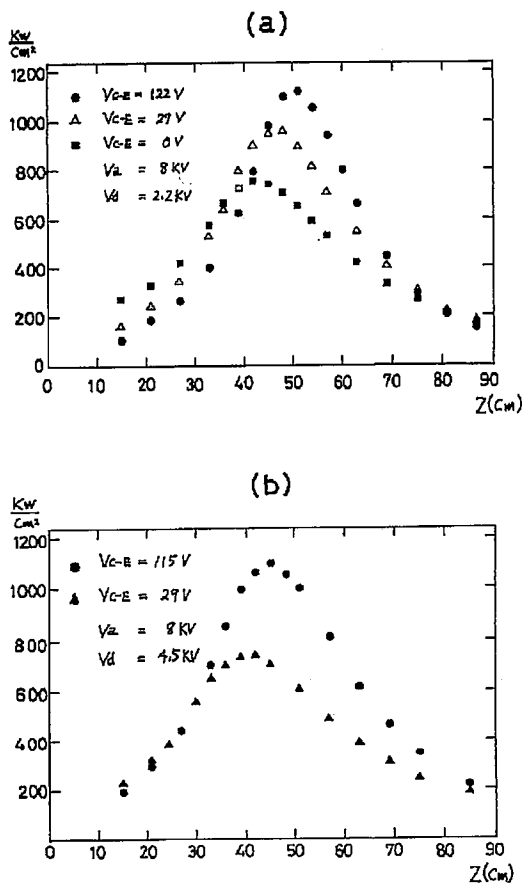
【図3】



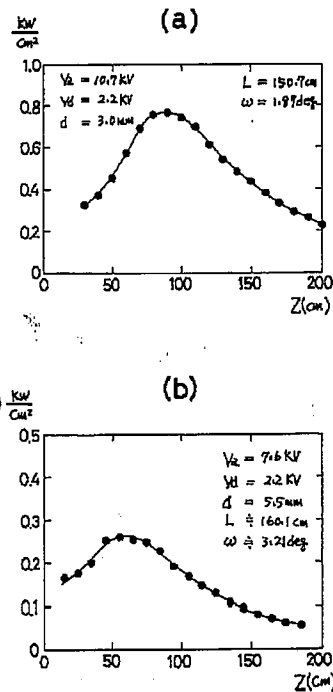
【図5】



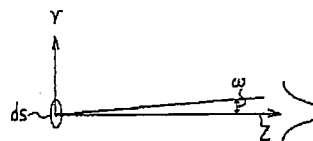
【図4】



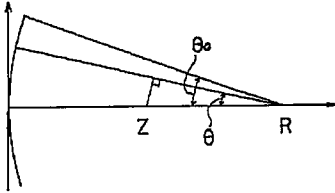
【図6】



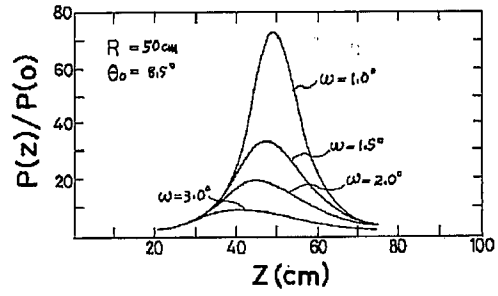
【図7】



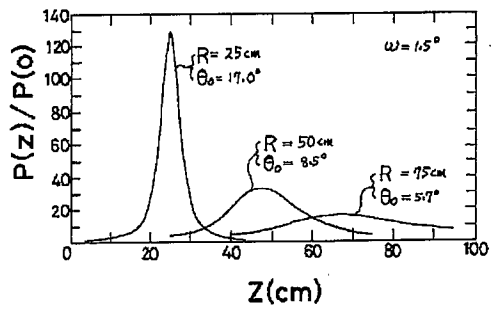
【図8】



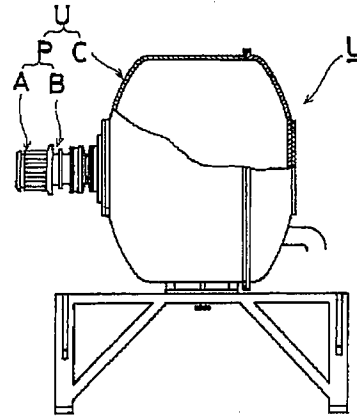
【図9】



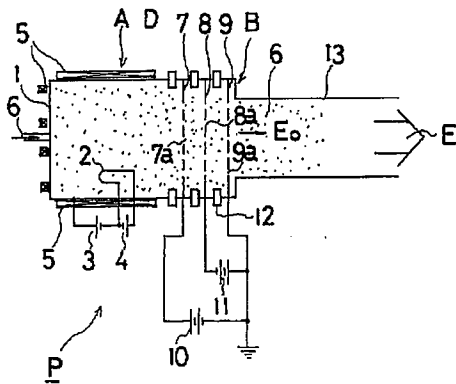
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

